

ANALISIS SEA LEVEL RISE DAN PENENTUAN KOMPONEN PASUT DENGAN MENGGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2 TAHUN 2011-2014 (Studi Kasus : Perairan Sumatera Bagian Timur)

Andri Yanto Parulian Tamba, Bandi Sasmito, Hani'ah ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50215
email : andritamba@outlook.com

ABSTRAK

Pemanasan global merupakan faktor penyebab kenaikan permukaan air laut. Dalam kurun waktu lama mengakibatkan peningkatan abrasi pantai, erosi garis pantai, penggenangan suatu wilayah daratan dan bisa menenggelamkan pulau-pulau kecil serta meningkatnya intensitas dan frekuensi banjir. Pada Perairan Sumatera bagian Timur yang merupakan jalur pelayaran diperlukan data kenaikan muka laut untuk keamanan jalur laut.

Pada penelitian ini menggunakan data hasil pengamatan satelit altimetri Jason-2 periode 2011-2014 di tiga titik pengamatan, yaitu : Perairan Banda Aceh, Perairan Belawan dan Perairan Lampung. Interpolasi data satelit menggunakan metode pembobotan invers jarak dengan menggunakan perangkat lunak matlab. Penelitian ini menggunakan analisis trend linier dan analisis harmonik untuk mengetahui nilai kenaikan permukaan laut dan nilai komponen pasang surut air laut pada Perairan Sumatera bagian Timur.

Pada pengamatan Satelit Altimetri Jason-2 periode 2011-2014 menunjukkan adanya fenomena sea level rise pada Perairan Sumatera bagian Timur dengan rata-rata nilai kenaikan sebesar +15,4605 mm/tahun. Dengan kenaikan tertinggi berada di perairan Banda Aceh dengan nilai +23,5588mm/tahun dan terendah +7,3621 mm/tahun berada pada dua titik yaitu perairan Belawan dan perairan Lampung. Komponen pasang surut pada Perairan Sumatera bagian Timur dengan pengamatan Satelit Altimetri Jason-2 selama tahun 2011-2014 menghasilkan nilai amplitudo N2 rata-rata sebesar 0,0529 m, nilai amplitudo M2 rata-rata sebesar 0,3215 m, nilai amplitudo S2 rata-rata sebesar 0,1835 m, nilai amplitudo K2 rata-rata sebesar 0,1006 m, nilai amplitudo O1 rata-rata sebesar 0,066 m, nilai amplitudo P1 rata-rata sebesar 0,10504 m, nilai amplitudo K1 rata-rata sebesar 0,0174 m, nilai amplitudo M4 rata-rata sebesar 0,0507 m, nilai amplitudo MS4 rata-rata sebesar 0,1627 m, dan nilai elevasi HHWL rata-rata sebesar 1,1169 m, nilai elevasi MHWL rata-rata sebesar 0,7037 m, nilai elevasi rata-rata MSL sebesar 0,0916 m, nilai elevasi rata-rata MLWL sebesar -0,5206 m, nilai elevasi CDL rata-rata sebesar -0,7118 m, nilai elevasi LLWL rata-rata sebesar -0,9337 m.

Kata Kunci : laut, kenaikan muka laut, pasang surut, satelit altimetri

ABSTRACT

Global warming is a factor contributing to sea level rise. In the period of time resulting in increased coastal erosion, shoreline erosion, sinking of coastal areas and can submerge small islands and the increased intensity and frequency of floods. On the Eastern part of Sumatera Island Ocean is a cruise line to sea level rise data are necessary for the security of the sea lanes.

This research use sea surface observational data using the altimetry satellite Jason-2 2011-2014 at three observation points, namely: Banda Aceh Ocean, Belawan Ocean and Lampung Ocean. Interpolation satellite data using the inverse distance weighting method using matlab software. This study uses a linear trend analysis and harmonic analysis to determine the value of sea-level rise and the value component of the tide in the waters of eastern Sumatra.

Sea surface observations using Jason-2 altimetry satellites data in the 2011-2014 period showed the phenomenon of sea level rise on the eastern part of Sumatera Island Ocean with the average increase value by +15.4605 mm / year. The highest increase was in the Banda Aceh Ocean with the value + 23,5588mm / year and the lowest was +7.3621 mm / year at two points, namely Belawan Ocean and Lampung Ocean. The ocean tide components on the Eastern part of Sumatra Island Ocean with observation satellites Jason-2 altimetry during 2011-2014 resulted in an average amplitude value N2 amounted to 0.0529 m, the average amplitude value M2 at 0.3215 m, the average amplitude value S2 at 0.1835 m, the average amplitude value K2 at 0.1006 m, the average amplitude value O1 at 0,066 m, the average amplitude value P1 at 0.10504 m, the average amplitude value K1 at 0.0174 m, the average amplitude value M4 at 0.0507 m, the average amplitude value MS4 at 0.1627 m, and the average HHWL elevation value at 1.1169 m, the average MHWL elevation value at 0,7037 m, the average MSL elevation value at 0.0916 m, the average MLWL elevation value at -0.5206 m, the average CDL elevation value at -0.7118 m and the average LLWL elevation value at -0.9337 m.

Keyword : sea , sea level rise, ocean tide, altimetry satellite

^{*) Penulis PenanggungJawab}

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Pemanasan global dapat menyebabkan terjadinya perubahan kedudukan muka laut termasuk di Indonesia yang memiliki luas perairan sekitar 70% dari luas keseluruhan wilayahnya. Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang terdiri dari lebih 17.000 pulau dengan total luas daratan 195 juta hektar. Terdapat 5 pulau besar yaitu Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Indonesia memiliki panjang garis pantai sekitar 81.000 km (La Sara, 2014). Sebagian kota-kota besar berada di pesisir pantai. Sehingga pengaruh *sea level rise* (SLR) bagi Indonesia memiliki pengaruh besar.

Perubahan kedudukan air laut dilakukan dengan pengamatan pasut di pantai sudah dilakukan sejak beberapa tahun yang lalu. Cakupan daerah yang dapat diamati dengan metode ini tidak seluas satelit altimetri. Pengamatan pasut di pantai hanya akurat pada daerah laut dangkal yang dekat dengan pantai. Sedangkan, pengamatan dengan satelit altimetri lebih luas dan merata. Informasi pasut mengenai karakteristik dan sifat pasang surut dapat diperoleh dengan melakukan analisis harmonik pasut.

Letak geografis perairan timur Sumatera sangat cocok digunakan sebagai jalur pelayaran karena letaknya terlindung dari perairan terbuka seperti Samudera Hindia. Kondisi perairan Selat Malaka pun relatif jauh lebih aman dibanding perairan terbuka, meskipun kadang-kadang kondisi arus menjadi cukup kuat. Selain itu, di beberapa bagian di perairan timur Sumatera terdapat sejumlah lokasi yang berkarang-karang, misalnya di Selat Bangka dan Selat Gaspar. Hal tersebut dapat membahayakan keselamatan kapal, sehingga di lokasi tersebut banyak terdapat kapal yang kandas maupun karam.

Perairan timur Sumatera merupakan bagian dari Paparan Sunda yang relatif dangkal dan merupakan satu bagian dari dataran utama Asia dan beberapa laut dan teluk seperti Laut Cina Selatan, Teluk Thailand, dan Laut Jawa. Selat Malaka di bagian paling sempit kedalamannya sekitar 30 m dengan lebar 35 km. Kedalamannya meningkat secara gradual hingga 100 m sebelum lereng benua (*continental slope*) Laut Andaman. Di dasar selat ini, arus pasang

surut sangat kuat terjadi dan terbentuk riak-riakan pasir besar yang bentuknya sama, dengan bagian puncak/ujungnya searah dengan arus pasang surut tersebut. Pola arus dan sirkulasi massa air dominan mengalir dari selatan ke utara di kedua musim yang berbeda (Nia Naelul Hasanah. R, 2009).

Pengkajian dalam penulisan tugas akhir ini berupa penentuan *sea level rise* beserta penentuan konstanta harmonik pasut dengan metode analisis harmonik teknik kuadrat terkecil. Data yang didapat dari pengamatan satelit altimetri, akan membantu pengamatan muka laut secara temporal. Dengan demikian dapat diketahui perubahan muka laut dan komponen pasut pada periode 2011-2014 di perairan Sumatera bagian Timur.

I.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugasakhir ini adalah :

- 1) Berapa besaran perubahan *sea level rise* pada daerah perairan Sumatera bagian Timur selama tahun 2011-2014?
- 2) Berapa nilai komponen pasut pada daerah perairan Sumatera bagian Timur selama tahun 2011-2014?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui besar perubahan *sea level rise* di perairan Sumatera bagian Timur selama tahun 2011-2014.
- 2) Untuk mengetahui nilai-nilai komponen pasut pada perairan Sumatera bagian Timur selama tahun 2011-2014.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

- 1) Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari satelit Altimetri Jason-2 tahun 2011-2014.
- 2) Studi kasus dalam penelitian ini adalah Perairan Sumatera bagian Timur yang terdiri dari Perairan Banda Aceh ($96^{\circ}22'45.09''\text{BT}$; $5^{\circ}56'1.58''\text{LU}$), Perairan Belawan ($99^{\circ}52'17.23''\text{BT}$; $4^{\circ} 6'3.57''\text{LU}$)

dan Perairan Lampung (106°46'30.60"BT ; 4°36'34.92" LS).

- 3) Interpolasi yang digunakan dalam pengolahan data SLA adalah interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighted*) dan Interpolasi Linier.
- 4) Metode analisis harmonik yang digunakan untuk menentukan nilai komponen pasang surut adalah metode *least square*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Satelit Altimetri

Teknologi satelit altimetri merupakan salah satu teknologi pengindraan jauh yang digunakan untuk mengamati dinamika topografi permukaan laut yang tereferensi terhadap suatu bidang tertentu. Bidang tertentu tersebut dapat berupa suatu bidang referensi tinggi yang dapat berupa ellipsoid, geoid, atau *mean sea surface*. Dalam penggunaannya bidang-bidang referensi tersebut menjadi acuan untuk menentukan kedudukan muka laut. Adapun pemilihan bidang referensi tinggi tersebut disesuaikan dengan tujuan pemanfaatannya. Pada saat ini secara umum sistem satelit altimetri mempunyai tiga obyektif ilmiah jangka panjang, yaitu:

- 1) Mengamati sirkulasi lautan global,
- 2) Memantau volume dari lempengan es kutub, dan
- 3) Mengamati perubahan muka laut rata-rata (MSL) global.

Satelit altimetri tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan perubahan MSL global, tetapi juga akan bermanfaat untuk beberapa aplikasi geodetik dan oseanografi seperti yang diberikan (Abidin, 2001):

- 1) Penentuan topografi permukaan laut (SST),
- 2) Penentuan topografi permukaan es,
- 3) Penentuan geoid di wilayah lautan,
- 4) Penentuan karakteristik arus,
- 5) Penentuan tinggi (signifikan) dan panjang (dominan) gelombang,
- 6) Studi pasang surut di lepas pantai,
- 7) Penentuan kecepatan angin di atas permukaan laut,
- 8) Penentuan batas wilayah laut, dan es,
- 9) Studi fenomena *El Nino*,
- 10) Manajemen sumber daya laut,
- 11) Unifikasi datum tinggi antar pulau.

Penelitian ini menggunakan satelit altimetri *Jason-2*. Satelit yang diluncurkan 20

Juni 2008 dari Vandenberg, California. Misi *Jason-2* adalah mengambil alih dan melanjutkan misi *Topex/Poseidon* dan *Jason-1*. *Jason-2* melibatkan NASA, CNES, dan dua mitra baru yaitu EUMETSAT dan NOAA. Seperti satelit altimetri pada umumnya, *Jason 2* juga memiliki radar altimeter yang berguna memantau tinggi permukaan laut.

Satelit *Jason-2* memiliki lima buah sensor yang terdiri dari dua sensor milik CNES dan tiga sensor milik NASA. Adapun sensor-sensor tersebut adalah :

- 1) *Poseidon-3 Altimeter*
- 2) *Jason-2 Advance Microwave Radiometer (AMR)*.
- 3) *Dual-frequency Doppler Orbitography and Radiopositioning Satellite (DORIS)*.
- 4) *Turbo Rogue Space Receiver (TRSR)*.
- 5) *Laser Retroreflector Array (LRA)*

Orbit yang dilalui satelit *Jason-1* sama dengan satelit *Jason-2*, dengan jumlah 254 *pass*, dan 9.9156 hari siklus berulang yang tepat. Orbit *Jason-2* memiliki ketahanan yang baik terhadap gaya gravitasi bumi yang bervariasi, tekanan radiasi matahari, dan gaya lainnya. Orbit satelit *Jason-2* diverifikasi pada dua tempat yaitu pada CNES yang berlokasi di Cape Senetosa, Pulau Corsica dengan posisi 8°48' BT dan 41°34' LU (*pass* naik 085) dan stasiun NASA yang berlokasi di Harvest oil platform dekat Pt. Conception, California dengan posisi 239°19' BT dan 34°28' LU (*pass* naik 043).

Resolusi temporal satelit *Jason-2* adalah 10 hari, tepatnya 9,9156 hari dengan jarak antar lintasan satelit terpisah sejauh 315 km di ekuator (AVISO and PODAAC, 2008). Sepanjang jalur pengukuran data diambil tiap detik dengan jarak antar titik pengukuran sejauh 5 km. Dalam satu periode pengukuran (*cycle*) terdapat 127 lintasan dengan waktu tempuh 112 menit untuk satu lintasan. Tiap lintasan terdiri dari dua fase, yaitu fase naik (*ascending*) dari 66,15° LS sampai 66,15° LU dan fase turun (*descending*) dari 66,15° LU sampai 66,15° LS.

II.2. Sea Level Rise

Sea level rise (SLR) merupakan peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor-faktor kompleks. *Sea level rise* pada mulanya merupakan rangkaian proses pasang surut air laut. Namun, saat ini semakin tingginya

muka air laut bukan lagi hanya karena proses dari pasang surut air laut tetapi juga pengaruh dari perubahan iklim global. Sejak puncak zaman es 18.000 tahun yang lalu, sudah terjadi peningkatan ketinggian muka air laut setinggi 120 meter. Kenaikan tertinggi terjadi sebelum 6.000 tahun yang lalu. Setelah 3000 tahun yang lalu sampai abad ke -19 pertumbuhannya 0,1-0,2 mm/tahun, kemudian dari tahun 1900 kenaikannya 1-3 mm/tahun. Pada tahun 1992 satelit altimetri TOPEX/Poseidon mengindikasikan laju kenaikan muka air laut sebesar 3 mm/tahun. Abad ke-20 tinggi muka air laut diseluruh dunia telah meningkat 10-25 cm (Watson,2000).

Secara umum, kenaikan muka air laut merupakan dampak dari pemanasan global (*global warming*) yang melanda seluruh belahan bumi ini. Perubahan iklim adalah dampak dari pemanasan global yang melibatkan unsur aktivitas manusia dan alamiah. Perubahan iklim merupakan perubahan pola maupun intensitas unsur iklim pada periode waktu yang dapat dibandingkan (biasanya terhadap rata-rata 30 tahun). Perubahan iklim dapat berupa perubahan dalam kondisi cuaca rata-rata atau perubahan dalam distribusi kejadian cuaca terhadap kondisi rata-ratanya, seperti sering atau berkurangnya kejadian cuaca ekstrim, berubahnya pola musim dan peningkatan luasan daerah rawan kekeringan. Perubahan iklim merupakan perubahan pada komponen iklim yaitu suhu, curah hujan, kelembaban, evaporasi, arah dan kecepatan angin, dan perawanan.

Berdasarkan laporan IPCC (*International Panel On Climate Change*) bahwa rata - rata suhu permukaan global meningkat 0,3 - 0,6°C sejak akhir abad ke-19 dan sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar 1,4 - 5,8°C. Naiknya suhu permukaan global menyebabkan mencairnya es di kutub utara dan selatan bumi sehingga terjadilah kenaikan muka laut. Diperkirakan dari tahun 1999 - 2100 mendatang kenaikan muka air laut sekitar 1,4 - 5,8 m. Berdasarkan laporan terakhir, elevasi muka air laut rata-rata mengalami peningkatan dan diprediksi mencapai 30 cm dari level air laut rata-rata sepanjang abad 21 (Dahuri, 2002)

II.3. Konstanta Harmonik Pasang Surut

Pada umumnya terdapat 9 komponen utama konstanta harmonik pasang surut untuk keperluan rekayasa, yaitu : M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 dan MS_4 . Konstanta harmonik pasang surut dibagi dalam 4 garis besar, yaitu :

- 1) Konstanta harmonik pasang surut periode harian (*diurnal period tide*)
- 2) Konstanta harmonik pasang surut periode harian ganda (*semidiurnal period tide*),
- 3) Konstanta harmonik pasang surut periode panjang (*longperiod tide*),
- 4) Konstanta harmonik pasang surut perairan dangkal.

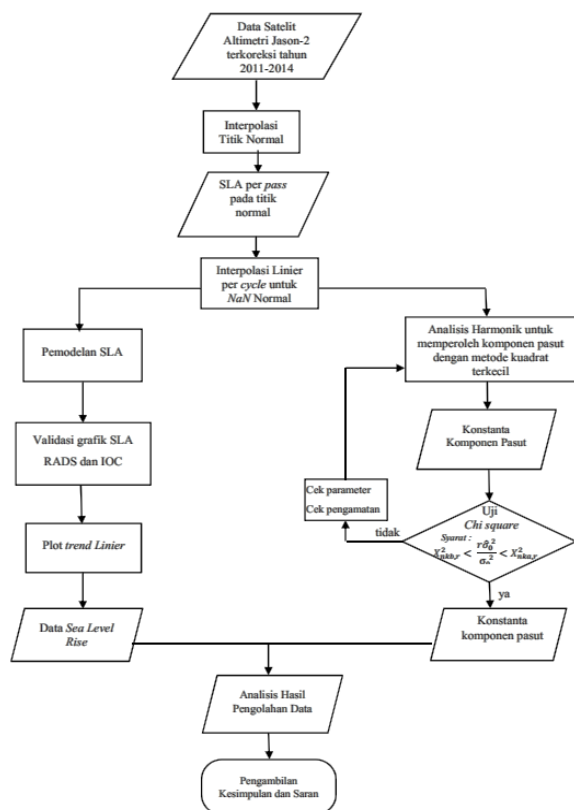
III. Pelaksanaan Penelitian

III.1. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan peralatan dan data sebagai berikut :

- 1) Alat Penelitian
 - a. Perangkat keras (*hardware*)
Lenovo V470c Intel® Core™ i3-2350M @ 2.30 GHz, Microsoft Windows 10 32-bit, 2.00 GB RAM, HDD 500 GB
 - b. Perangkat lunak (*software*)
M. Word 2010, M. Excel 2010 dan Matlab 2009
- 2) Bahan Penelitian
 - a. Data SLA Satelit Altimetri Jason-2 2011-2014 pada daerah Perairan sumatera bagian Timur, yaitu Perairan Banda Aceh, Perairan Belawan, dan Perairan Lampung.
 - b. Data stasiun pasang surut Sabang, Langkawi dan Kolinamil yang didapat dari *database* IOC.

III.2. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

III.3. Interpolasi Titik Normal

Orbit satelit telah dirancang untuk dapat mengulang di atas tempat yang sama, namun tetap saja terdapat variasi posisi posisi tiap groundtrack yaitu ± 1 km. Oleh karena itu, untuk menciptakan kekonsistenan pada posisi titik pengamatan dan juga untuk memudahkan proses pengolahan data maka ditentukan sebuah titik normal dengan koordinat yang tetap sebagai titik pengamatan. Titik-titik yang diamati Jason-2 akan diinterpolasi nilai SLA-nya terhadap titik normal sehingga nilai SLA yang digunakan di dalam pengolahan data merupakan nilai SLA diatas titik normal. Dalam studi ini, nilai SLA di atas titik normal diperoleh dengan menggunakan interpolasi *inverse distance weight* (IDW).

Proses interpolasi titik normal pada setiap *pass* disetiap *cycle* dibatasi dalam radius 7 km ($0,06288^\circ$) dari titik normal yang ditentukan. Pada penelitian ini, interpolasi titik normal diolah dengan software *Matlab*.

III.4. Interpolasi Linier

Interpolasi linier digunakan untuk menentukan nilai dari SLA yang tidak memiliki nilai (*NaN*). Data-data yang *NaN* akan dianggap sebagai persamaan linier. Data yang memiliki nilai akan digunakan sebagai titik awal dan titik akhir dari persamaan linier tersebut. Persamaan linier ini dilakukan per *cycle* dalam satu *pass*. Pada penelitian ini interpolasi linier dilakukan dengan software *Ms. Excel*.

III.5. Analisis Harmonik

Analisis harmonik pasut ini melakukan perhitungan nilai konstanta harmonik pasut yang meliputi perhitungan nilai amplitudo dan beda fase masing-masing konstituen. Penelitian ini menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*) dengan menggunakan software *Ms.Excel 2010*.

Analisis harmonik dilakukan dengan tahap berikut :

- 1) Analisis dengan menggunakan 9 komponen pasang surut utama menggunakan perhitungan analisis harmonik, yaitu : M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 dan MS_4 .
- 2) Perhitungan analisis harmonik dengan pembobotan.

Hasil perhitungan analisis harmonik berupa amplitudo komponen pasang surut laut dan fase gelombang pada setiap *pass*.

III.6. Uji Chi-square

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah perataan analisis harmonik yang telah dilakukan adalah benar atau salah secara statistik. Uji statistik dapat digunakan untuk mendeteksi adanya blunder pada data pengamatan yang dihasilkan. Uji *chi-square* dilakukan dengan cara menghitung batas atas, batas bawah dan nilai hasil uji statistik *chi-square* pada setiap *pass*. Pengujian *chi-square* dilakukan dengan menggunakan rumus uji *chi-square* yang diaplikasikan pada software *Microsoft Excel 2010*.

Apabila hasil pengujian *chi-square* terletak di bawah nilai kritis bawah dari wilayah penerimaan hasil uji variansi, maka kesalahan yang mungkin terjadi pada proses perataannya adalah :

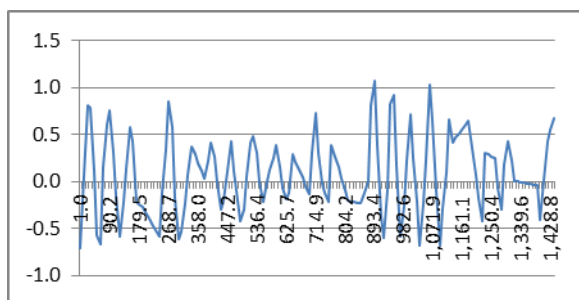
- 1) Terlalu banyak komponen pasang surut yang dilibatkan dalam hitung perataan.
- 2) Matriks bobot yang diberikan terhadap data lebih kecil dari pada bobot yang seharusnya (*under-estimate*).

Apabila hasil pengujian *chi-square* terletak di atas nilai kritis atas dari wilayah penerimaan hasil uji variansi, maka kesalahan yang mungkin terjadi pada proses perataannya adalah :

- 1) Komponen pasang surut yang dilibatkan dalam hitung perataan terlalu sedikit.
- 2) Matriks bobot yang diberikan terhadap data terlalu besar dari pada bobot yang seharusnya (*over-estimate*).
- 3) Terdapat *blunder* di dalam data.

III.7. Plotting SLA

Untuk mengetahui nilai *trend linier* dari data hasil pengamatan maka data SLA harus *diplot* ke dalam bentuk grafik. *Plotting* data dapat dilakukan dengan cara manual atau bisa menggunakan software seperti *Matlab*, *Ms. Excel* dsb. Dalam penelitian ini, *plotting* data dilakukan menggunakan *Ms.Excel 2010* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Contoh Plotting SLA

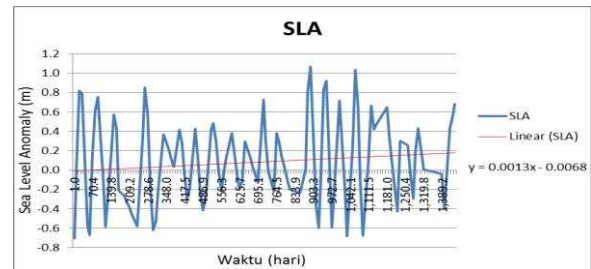
III.8. Trend Linier

Analisis deret waktu (*time series*) adalah analisis terhadap perubahan variabel dari selang waktu tertentu dari waktu ke waktu. Kecenderungan dari data yang berupa deret waktu (*time series*), bisa dilihat salah satunya dengan *trend linier*. *Trend linier* mempunyai rumus umum :

$$y = mx + c$$

Dengan *m* sebagai nilai kecenderungan datanya. Nilai *m* bisa positif (naik) bisa juga negatif (turun). Dalam penelitian ini nilai *trend*

linier didapat dari *plotting* SLA dari tahap sebelumnya. Kemudian *Ms. Excel* menghitung nilai *trend linier* dari grafik tersebut dan hasilnya akan muncul seperti pada Gambar 4.



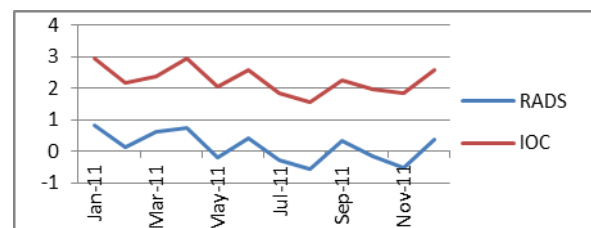
Gambar 3. Contoh Trend Linier

Nilai koefisien *x* yang muncul pada nilai *trend linier* diasumsikan sebagai kecepatan naik *sea level rise* dengan satuan meter/cycle. Oleh karena itu untuk mengubah kedalaman bentuk milimeter per tahun maka nilai koefisien tersebut harus diubah dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{sea level rise} \left(\frac{\text{mm}}{\text{th}} \right) = \frac{(\text{nilai trend linier} \times 1000)}{9,9156/365}$$

III.9. Analisis Grafik SLA dan Pengamatan Pasang Surut

Satelit Altimetri mampu menjangkau daerah lepas pantai untuk mengamati *sea level rise*. Kemampuan satelit ini melengkapi pengamatan pasang surut yang dilakukan di tepi pantai. Sehingga untuk menentukan nilai SLR kedua metode ini mampu memberikan hasil yang baik. Untuk validasi data maka dilakukan perbandingan grafik SLA antara data pengamatan satelit Altimetri dengan data hasil pengamatan pasang surut. Persamaan pada bentuk grafik menunjukkan keterkaitan antara pengamatan satelit altimetri dan pengamatan pasang surut seperti pada Gambar 5.



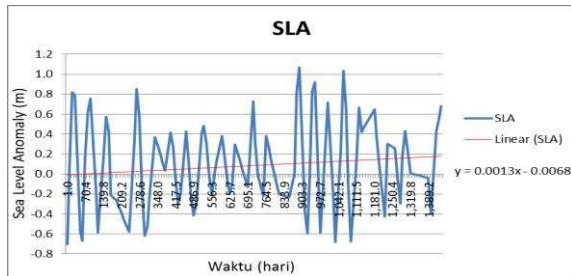
Gambar 4. Grafik Perbandingan SLA satelit altimetri dengan grafik data pasang surut

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil Pengamatan SLR

1) Perairan Banda Aceh

Berdasarkan data SLA lintasan descending pass 90 periode 2011-2014 maka didapatkan grafik SLA yang telah diinterpolasi Perairan Banda Aceh seperti Gambar 6 berikut :



Gambar 5. Grafik SLA Perairan Banda Aceh descending pass 90

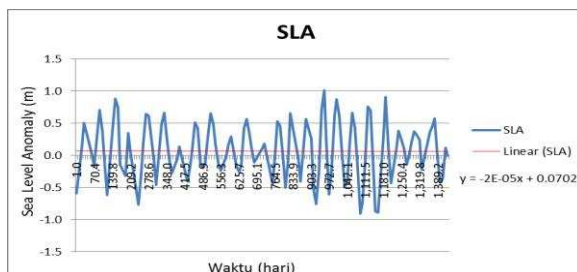
Dari grafik diatas nilai trend liniernya adalah :

$$y = 0.0013x - 0.0068$$

Karena hasil trend liniernya masih dalam satuan m/cycle, maka :

$$\text{Nilai SLR} = +0.0013 \times (1000 / (9,9156 / 365)) = +47,85389 \text{ mm/tahun}$$

Nilai laju kenaikan permukaan laut (*sea level rise*) yang diperoleh pada ascending pass 103 periode 2011-2014 berdasarkan hasil trend linier pada grafik sea level anomaly yang terinterpolasi. Dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 6. Grafik SLA Perairan Banda Aceh ascending pass 103

Dari grafik diatas nilai trend liniernya adalah :

$$y = -2E-5x + 0.0702$$

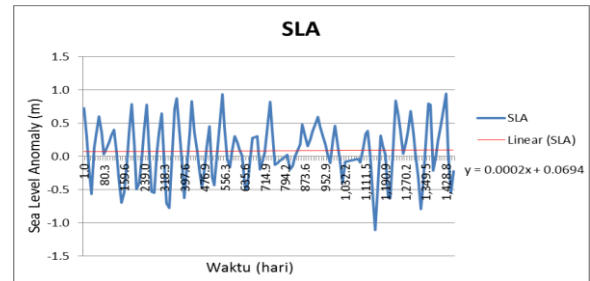
Karena hasil trend liniernya masih dalam satuan m/cycle, maka :

$$\text{Nilai SLR} = -0.00002 \times (1000 / (9,9156 / 365))$$

$$= -0,736213 \text{ mm/tahun}$$

2) Perairan Belawan

Berdasarkan data SLA lintasan descending pass 166 periode 2011-2014 maka didapatkan grafik SLA Perairan Belawan yang telah diinterpolasi seperti Gambar 8 berikut :



Gambar 7. Grafik SLA Perairan Belawan descending pass 166

Dari grafik diatas nilai trend liniernya adalah :

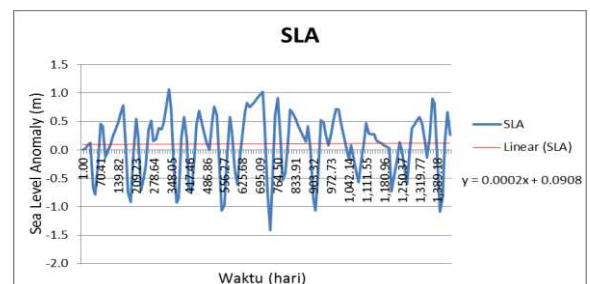
$$y = 0.0002x + 0.0694$$

Karena hasil trend liniernya masih dalam satuan m/cycle, maka :

$$\text{Nilai SLR} = +0.0002 \times (1000 / (9,9156 / 365)) = +7,36214 \text{ mm/tahun}$$

3) Perairan Lampung

Berdasarkan data SLA lintasan ascending pass 229 periode 2011-2014 maka didapatkan grafik SLA Perairan Lampung yang telah diinterpolasi seperti Gambar IV.4 berikut :



Gambar 8. Grafik SLA Perairan Lampung ascending pass 229

Dari grafik diatas nilai trend liniernya adalah :

$$y = 0.0002x + 0.0908$$

Karena hasil trend liniernya masih dalam satuan m/cycle, maka :

$$\text{Nilai SLR} = +0.0002 \times (1000 / (9,9156 / 365))$$

= +7,36214 mm/tahun

IV.2. Analisis Sea Level Rise (SLR)

Pada penelitian Satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2011-2014 dihasilkan nilai *sea level rise* di Perairan Sumatera Bagian Timur per tahunnya masing-masing seperti *Tabel 1* berikut.

Tabel 1. Nilai SLR Perairan Sumatera bagian Timur

No.	Titik Sampel	PassNumber	SLR (mm/th)
1	Perairan Banda Aceh	90	47,85389
		103	-0,73621
2	Perairan Belawan	166	7,36214
3	Perairan Lampung	229	7,36214

Pada *Tabel 1* dapat dilihat bahwa tiga titik sampel memiliki nilai positif yang menunjukkan setiap sampel mengalami fenomena *sea level rise*. Pada Perairan Sumatera bagian timur, fenomena *sea level rise* tertinggi terjadi di Perairan Banda Aceh pada pass number 90 sebesar +47,85389 mm/th. Sedangkan yang terendah berada di Perairan Banda Aceh pass number 103 sebesar -0,73621 mm/th.

Pada Perairan Banda Aceh *pass number* 103 menunjukkan terjadinya penurunan sebesar -0,73621 mm/th. Perbedaan ini bisa dipengaruhi oleh kualitas data yang direkam oleh satelit di masing-masing titik sampel. Seperti data yang berupa *Not a Number* (NaN) atau yang disebut juga data kosong serta data yang tidak terekam.

Data pada setiap *pass* mempengaruhi grafik SLA yang dihasilkan sehingga nilai *trend linier* pada setiap titik sampel juga dipengaruhi. Berikut ini persentase data SLA yang terdapat pada masing-masing *pass*.

Tabel 2. Data SLA Perairan Banda Aceh *pass* 90

Keterangan Data	Pass 90	
	Jumlah	%
Terekam	110	74,32432
NaN	36	24,32432
Tidak Terekam	2	1,35135
Jumlah	148	100

Tabel 3. Data SLA Perairan Banda Aceh *pass* 103

Keterangan Data	Pass 103	
	Jumlah	%
Terekam	115	77,7027
NaN	30	20,27027
Tidak Terekam	3	2,027002
Jumlah	148	100

Tabel 4. Data SLA Perairan Belawan *pass* 166

Keterangan Data	Pass 166	
	Jumlah	%
Terekam	115	77,702702
NaN	30	20,27027
Tidak Terekam	3	2,027002
Jumlah	148	100

Tabel 5. Data SLA Perairan Lampung *pass* 229

Keterangan Data	Pass 229	
	Jumlah	%
Terekam	125	84,45946
NaN	21	14,18919
Tidak Terekam	2	1,35135
Jumlah	148	100

Pada *Tabel 2-5* terlihat nilai NaN yang begitu besar pada wilayah Perairan Banda Aceh dan Perairan Belawan. Hal ini dipengaruhi lokasi kedua titik ini yang cenderung dekat dengan daratan antara Malaysia dan Pulau Sumatera sehingga pengamatan satelit altimetri Jason-2 tidak terlalu baik. Berbeda dengan jumlah data yang terekam pada Perairan Lampung yang mencapai 84% yang terbesar di antara keempat *pass* yang diamati. Hal ini dipengaruhi letak titik pengamatan yang tidak terimpit dua daratan yang berdekatan.

IV.3. Hasil Pengamatan Komponen Pasang Surut

Pada penelitian ini komponen utama pasang surut utama yang digunakan ada sembilan komponen yang terbagi dari komponen pasang surut ganda, komponen pasang surut tunggal dan komponen pasang surut perairan dangkal. Komponen yang digunakan ada sembilan dan Z0 sebagai berikut.

1) Perairan Banda Aceh

Nilai komponen pasang surut Perairan Banda Aceh periode 2011-2014 ditentukan dengan menggunakan analisis harmonik metode kuadrat terkecil menggunakan data Satelit Altimetri. Nilai komponen pasang surut pada *descending pass* 90 dan *ascending pass* 103 terdapat pada *Tabel 6* dan *Tabel 7* sebagai berikut.

Tabel 6. Komponen pasang surut Perairan Banda Aceh pada *descending pass* 90

Nama	Fase (°)	Amplitudo (m)
Z0		0,08541
N2	270,307,123	0,03835
M2	302,618,769	0,24494

S2	451,738,226	0,13133
K2	162,156,113	0,03641
O1	263,142,109	0,02984
P1	178,509,829	0,15651
K1	319,499,344	0,03976
M4	136,147,087	0,10495
MS4	617,030,702	0,01629

Tabel 7.Komponen pasang surut Perairan Banda Aceh pada *ascending pass* 103

Nama	Fase (°)	Amplitudo (m)
Z0		0,07543
N2	161,708	0,07317
M2	300,717	0,29049
S2	496,179	0,18927
K2	174,325	0,09249
O1	298,429	0,04485
P1	321,241	0,02819
K1	113,126	0,07879
M4	79,047	0,03803
MS4	268,731	0,01335

2) Perairan Belawan

Nilai komponen pasang surut Perairan Belawan periode 2011-2014 ditentukan dengan menggunakan analisis harmonik metode kuadrat terkecil menggunakan dari Satelit Altimetri. Nilai komponen pasut pada *descending pass* 166 dapat dilihat pada *Tabel 8* sebagai berikut.

Tabel 8.Komponen pasang surut Perairan Belawan pada *descending pass* 166

Nama	Fase (°)	Amplitudo (m)
Z0		0,07401
N2	145,88	0,08043
M2	142,444	0,38464
S2	659,554	0,20241
K2	160,821	0,13843
O1	120,196	0,06778
P1	799,416	0,15819
K1	850,799	0,18149
M4	161,693	0,03482
MS4	318,414	0,01105

3) Perairan Lampung

Nilai komponen pasang surut Perairan Belawan periode 2011-2014 ditentukan dengan menggunakan analisis harmonik metode kuadrat terkecil menggunakan dari Satelit Altimetri. Nilai komponen pasut pada *descending pass* 166 dapat dilihat pada *Tabel 9* sebagai berikut.

Tabel 9. Komponen pasang surut Perairan Lampung pada *descending pass* 229

Nama	Fase (°)	Amplitudo (m)
Z0		0,07401
N2	145,88	0,08043
M2	142,444	0,38465
S2	659,554	0,20241
K2	160,821	0,13843
O1	120,196	0,06778
P1	799,416	0,15819
K1	850,799	0,18149
M4	161,693	0,03482
MS4	318,414	0,01105

IV.4. Analisis Tipe Pasang Surut

Perairan Sumatera bagian Timur yang terdiri dari Selat Malaka, Selat Karimata dan Laut Jawa memiliki tipe pasang surut yang berbeda-beda. Untuk Selat Malaka memiliki tipe harian ganda (*semidiurnal tide*), Selat Karimata memiliki tipe harian tunggal (*diurnal tide*) dan Laut Jawa bertipe campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Analisis tipe pasang surut dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai bilangan *formzhal*. Tipe pasang surut diketahui dengan menganalisis nilai bilangan *formzhal* sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan. Hasil perhitungan bilangan *formzhal* dan elevasi muka air laut adalah sebagai berikut.

1) Perairan Banda Aceh

$$(F) = (A_{K1} + A_{O1}) / (A_{M2} + A_{S2}) \\ = (0,05927 + 0,03734) / (0,26771 + 0,16030) \\ = 0,2257$$

2) Perairan Belawan

$$(F) = (A_{K1} + A_{O1}) / (A_{M2} + A_{S2}) \\ = (0,18149 + 0,06777) / (0,38464 + 0,20241) \\ = 0,42462$$

3) Perairan Lampung

$$(F) = (A_{K1} + A_{O1}) / (A_{M2} + A_{S2}) \\ = (0,35069 + 0,12169) / (0,36578 + 0,21099) \\ = 0,81902$$

Perairan Banda Aceh hasil pengamatan Satelit memiliki nilai *formzhal* sebesar 0,22574. Sehingga dapat disimpulkan tipe pasut harian ganda (*semidiurnal tide*). Perairan Belawan memiliki nilai *formzhal* sebesar 0,42462. sehingga bertipe pasut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide, prevailing diurnal*). Kedua titik pengamatan ini terletak di Selat Malaka dan tipe pasut hasil pengamatan Perairan Belawan berbeda dengan tipe pasut yang dimiliki Selat Malaka yang bertipe harian ganda

(*semidiurnal*). Tetapi kedua jenis tipe pasut ini masih memiliki kesamaan yaitu dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Perbedaan hanya pada bentuk gelombang, tipe harian ganda memiliki bentuk gelombang simetris, sedangkan campuran condong ke harian ganda bentuk gelombang pasangannya asimetris. Perairan Lampung hasil pengamatan Satelit memiliki nilai *formzhal* sebesar 0,81902 sehingga tipe pasutnya campuran condong ke harian ganda (*mixed tide, prevailing semidiurnal*). Titik pengamatan ini terletak di sekitar Laut Jawa tepatnya utara stasiun pasang surut Jakarta yang memiliki tipe pasang surut yang sama. Sehingga, data pengamatan Altimetri memiliki kesamaan dengan data hasil pengamatan pasang surut di pantai.

IV.5. Hasil Uji *Chi-square*

Jenis pengujian *chi-square* digunakan untuk pengecekan kesalahan dalam proses pengolahan data. Data yang telah lulus uji variansi dapat dinyatakan sebagai hasil pengolahan akhir. Hasil uji *chi-square* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Hasil Uji *chi-square*

Lokasi	Pass	Batas		Hasil uji <i>chi-square</i>	Hasil
		Atas	Bawah		
Banda Aceh	90	160.086	97.6985	123.652	Lolos
	103	158.962	96.8219	127.479	Lolos
Belawan	166	162.331	99.4532	133.236	Lolos
Lampung	229	160.086	97.6985	131.17	Lolos

Dari Tabel 10., hasil uji *chi-square* memenuhi kriteria batas yang telah ditentukan. Hasil tersebut menunjukkan nilai uji *chi-square* berada diantara batas atas dan batas bawah yang dihasilkan. Perhitungan analisis harmonik yang telah lulus uji *chi-square* dapat dinyatakan sebagai hasil pengolahan akhir.

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, diantaranya:

- 1) Pada pengamatan Satelit Altimetri Jason-2 periode 2011-2014 menunjukkan adanya fenomena *sea level rise* pada Perairan Sumatera bagian Timur dengan rata-rata nilai kenaikan sebesar +15,4605 mm/tahun.

Dengan kenaikan tertinggi berada di perairan Banda Aceh dengan nilai 23,5588mm/tahun dan terendah +7,3621 mm/tahun berada pada dua titik yaitu perairan Belawan dan perairan Lampung.

- 2) Komponen pasang surut pada daerah Perairan Sumatera bagian Timur dengan pengamatan Satelit Altimetri Jason-2 selama tahun 2011-2014 menghasilkan nilai amplitudo N2 rata-rata sebesar 0,0529 m, nilai amplitudo M2 rata-rata sebesar 0,3215 m, nilai amplitudo S2 rata-rata sebesar 0,1835 m, nilai amplitudo K2 rata-rata sebesar 0,1006 m, nilai amplitudo O1 rata-rata sebesar 0,066 m, nilai amplitudo P1 rata-rata sebesar 0,10504 m, nilai amplitudo K1 rata-rata sebesar 0,0174 m, nilai amplitudo M4 rata-rata sebesar 0,0507 m, nilai amplitudo MS4 rata-rata sebesar 0,1627 m, dan nilai elevasi HHWL rata-rata sebesar 1,1169 m, nilai elevasi MHWL rata-rata sebesar 0,7037 m, nilai elevasi rata-rata MSL sebesar 0,0916 m, nilai elevasi rata-rata MLWL sebesar -0,5206 m, nilai elevasi CDL rata-rata sebesar -0,7118 m, nilai elevasi LLWL rata-rata sebesar -0,9337 m.

V.2. Saran

- 1) Penelitian untuk mengamati *sea level rise* memerlukan waktu pengamatan yang lebih panjang agar nilai kenaikan dan nilai komponen pasut lebih akurat.
- 2) Perairan Sumatera bagian Timur tidak memiliki stasiun pasut IOC yang mencukupi sehingga diperlukan stasiun-stasiun pasut yang terkoneksi ke IOC agar penelitian dan pengembangan di sekitar pantai Sumatera bagian Timur lebih baik.
- 3) Penelitian selanjutnya perlu adanya pengolahan lebih lanjut hasil SLA yang tidak memiliki nilai (*NaN*) agar nilai hasil pengamatan lebih akurat

Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z. 2001. Geodesi Satelit. PT Pradnya Paramita. Bandung
- Dahuri, R., 2002. Membangun Kembali Perekonomian Indonesia Melalui Sektor

- Perikanan dan Kelautan. LISPI. ISBN : 979-96004-3-X.
- Hasanah R, Nia Naelul. 2009. Potensi sumberdata Akeologi Laut di Perairan Timur Sumatera. Jurnal Amoghapasa.
- IPCC. 1996. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories –Workbook (Volume 2)*. Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Sara,La., 2014. Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Sebagai Model Percepatan Pembangunan Daerah Kepulauan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Halu Oleo. ISBN: 978-602-8161-65-7
- Watson RT, Noble IR, Bollin B, Ravindranath NH, Verado DJ and Dokken DJ., 2000. *Land Use, Land-Use Change and Forestry*. A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.